《心理学报》论文自检报告

请作者填写以下内容，粘贴在稿件的首页。

1. 请以“研究亮点”的形式列出最多三条本研究的创新性贡献，总共不超过 200 字。
《心理学报》的目标是发表“既科学优秀，又具有广泛兴趣和意义” (be both scientifically excellent and of particularly broad interest and significance)的心理学前沿研究。如果您的研究只有小修小补的贡献，没有尝试开创新的研究领域(new areas of inquiry)或提出独到见解和创新视角(unique and innovative perspectives)，特别纯粹只是研究没有明确心理学问题的算法或技术的工作，这类研究被本刊接受的机会小，建议另投他刊。

答：(1)本研究改进了先前研究中对难度的控制方法，采用心理测量学中划分难度的依据—通过率来对难度进行划分。

(2)先前研究仅通过行为数据考察字体大小效应，但缺乏神经层面的证据，因此难以解释字体大小效应减小的原因。本研究通过 ERPs 考察难度是字体大小效应减小的原因，并从编码和学习判断两个阶段进行分析，提出加工深度是减小字体大小效应的原因，并且发现个体进行学习判断时存在基于语义信息进行的尝试提取过程。

2. 作者已经投稿或发表的文章中是否采用了与本研究相同的数据？如果是，请把文章附上审查。(我们不赞成作者用同一数据发表多篇变量相同的文章，也不赞成将一系列的相关研究拆成多个研究来发表的做法。)
答：否

3. 管理、临床、人格和社会等领域仅有自我报告(问卷法)的非实验非干预研究，需要检查数据是否存在共同方法偏差(common method bias)。为控制或证明这种偏差不会影响研究结论的效度，你使用了什么方法？采取了哪些措施？(共同方法偏差的有关文献可参见：http://journal.psych.ac.cn/xlkxjz/CN/abstract/abstract894.shtml)基于横断数据，仅有自我报告，仅仅在方便样本中施测，这样的研究数据易取得，但通常创新性价值不大，被本刊接受的机会小。
答：本研究为实验研究，不存在上述问题

4. 是否报告并分析了效果量(effect sizes；如：*t* 检验：Cohen's *d*；方差分析：η² 或η_p^2；标准化回归系数)？(很多研究只是机械地报告了效果量，但没有做必要的分析或说明，如效果量是大中小？有什么理论意义或应用意义？)。(在 google 中搜索“effect size calculator”，可搜到许多计算方便的 APP。效应量的有关解释，中文可参考：http://journal.psych.ac.cn/xlkxjz/CN/abstract/abstract1150.shtml；英文可参看：http://www.uccs.edu/lbecker/effect-size.html
是否报告统计分析的 95% CI？(如，差异的 95% CI；相关/回归系数的 95% CI)置信区间的有关计算和绘图可参考 https://thenewstatistics.com/itns/esci/)
答：是
否

5. 请写出计划的样本量，实际的样本量。如果二者有差别，请写出理由。以往心理学研究中普遍存在样本量不足导致的低统计功效(power)问题，我们建议在论文的方法部分解释您计算及认定样本量的依据。应该以有一定依据的效果量(effect size)、期望的功效来确定样本量，并报告计算用软件或程序。样本量计划的理由和做法可参考 https://osf.io/5awp4/
答：实验 1a 和 1b 计划样本量 24，实际样本量 28，保留有效被试 26，理由为 2 名被试记忆成绩过低存在不认真参与实验的可能；

实验 2 计划样本量 20，实际样本量 27，保留有效被试 25，理由为 2 名被试脑电数据拒绝率高于 35%

6. 假设检验中，如果是零假设显著性检验(NHST)，需报告精确 *p* 值而不是 *p* 的区间(小于 0.001 的报告区间，其他报告精确 *p* 值)。你的论文是否符合该项要求？如果是贝叶斯因素，是否已报告其对先验分布假定的敏感性？
答：是

7. 为保证论文中数据报告的完备性，统计分析中如果剔除了部分数据，是否在文中报告？原因是什么？包含这部分数据的统计结果如何变化？统计分析中是如何处理缺失数据的？使用量表时是否删除了其中的个别题目？原因是什么？如果包含这部分题目，统计结果会如何变化？是否有测量的项目或者变量没有报告？原因是什么？请写出在论文中的位置。
答：是

原因为被试并未认真完成实验导致记忆成绩过低。
在数据处理前便进行了极端值的剔除，故而并未分析包含这部分数据的结果。
对于缺失数据采用均值插补的方式进行处理

8. 研究用到的未经过同行评议和审查的实验材料、量表或问卷，是否附在文件的末尾以供审查？如果没有，请写出理由。如果该文发表，您是否愿意公开这些材料与其他研究者共享？
答：是
是

9. 本刊要求作者提供原始数据，请在以下 3 种里选择一种打√：
a) 投稿后将数据发至编辑部邮箱 (√)
b) 数据可以从如下链接中获得 (   )
c)原始数据和程序已在心理科学数据银行(https://psych.scidb.cn/)上分享 (   )
d)如不能提供，请说明理由或提供有关证明。

10. 您的研究是否是临床干预或实验室实验？ 是(√) 否(   )
如果是，请提供预注册登记号 ______________________。
如果没有，请说明原因____。
注：临床干预或实验室实验，建议在收集数据前预注册(pre-register)。也鼓励其他实验研究预注册。预注册要求写出所有的研究假设及其支持，以及实验/干预的详细过程和步骤。本期刊的预注册网站是 https://os.psych.ac.cn/preregister (使用说明书见本刊网站“下载中心”)或 https://osf.io/ 或 https://aspredicted.org/。如果您的研究有预注册，会显著增加被录用的机会。预注册的重要性可参考 https://osf.io/5awp4/

11. 您的研究如果用到了人类或动物被试，是否得到所在单位伦理委员会的批准？如果是，请把扫描版发至编辑部邮箱。如果否，请说明理由。
答：是

12. 是否依据编辑部网站发布的“英文摘要写作注意事项”撰写 400~500 个单词的英文大摘要？英文题目和摘要是否已请英语好的专业人士把关或者已送专业 SCI/SSCI 论文编辑公司修改润色？
答：否。

13. 如果第一作者是学生，请导师单独给编辑部(xuebao@psych.ac.cn)发邮件，说明已阅读本文并认真把关。是否已提醒导师给编辑部发邮件？(编辑部收到导师邮件后才会考虑进入稿件处理流程)
答：是。

14. 请到编辑部网站首页右侧“下载中心”下载并填写“稿件不涉密证明”，加盖通讯作者单位的保密办公章，把扫描件发至编辑部邮箱(xuebao@psych.ac.cn)。如没有保密办公章，请加盖通讯作者的单位公章。是否已发邮件？
答：是。

难度对字体大小效应的影响：语义编码的作用

摘　要　通过事件相关电位技术(ERPs)考察难度对字体大小效应的影响。结果发现：(1)与简单词对相比，被试对困难词对给予更低的学习判断(judgments of learning, JOLs)值；而被试对大字体的 JOLs 值与小字体相比没有差异。(2)字体大小影响编码早期(200～300ms)，诱发个体对学习项目的浅加工(非语义编码)；难度影响编码中后期(450～600ms)，困难词对诱发个体对学习项目的深加工(语义编码)。(3)被试在进行 JOLs 时会在前额叶诱发代表尝试提取的 LPN 成分。以上结果表明，编码阶段难度线索通过诱发个体对项目进行语义编码，从而消除字体大小效应；在 JOLs 阶段个体会进行尝试提取，该过程中，个体基于语义编码的信息做出准确的 JOLs。本研究结果不仅说明了字体大小效应产生和消除的电生理机制，还为如何提高 JOLs 这一元记忆监测过程的准确性提供了神经证据。

关键词　字体大小；JOLs；元记忆；记忆；ERPs

1 引言

在日常生活中，人们往往通过对自身学习和记忆进行反思性评价来提高学习效率。这种个体对自身记忆准确程度进行的自我评估称为元记忆(McDonough et al., 2021; Undorf et al., 2022)，元记忆包括元记忆监测和元记忆控制两部分(Dunlosky et al., 2016; Dunlosky & Metcalfe, 2008; Nelson & Narens, 1990; Rivers et al., 2021)。现有研究中最常用的一种元记忆监测指标是学习判断(judgments of learning, JOLs)。JOLs 是个体在记忆项目之后，测试之前对自身记忆程度进行的预测性判断(Nelson & Narens, 1994)。准确的 JOLs 是个体在学习中实现有效自我调控的基础。但是，个体对自身记忆程度的判断与实际记忆成绩之间通常会出现分离的现象，即出现元记忆错觉(metamemory illusions)。元记忆错觉会导致个体对认知资源的调控出现偏差，从而降低其学习效率(Undorf et al., 2022)。

字体大小效应(font size effect)就是一种典型的元记忆错觉。字体大小效应是指虽然大字体和小字体项目的实际记忆成绩相同，但是个体通常会错误地认为自己对大字体项目的记忆成绩更好的现象。Rhodes 和 Castel(2008)采用经典 JOLs 范式，将实验材料以 18pt 小字体和 48pt 大字体呈现，让被试进行学习-JOLs-测试，发现被试给予大字体更高的 JOLs，但真实回忆成绩上大字体和小字体无显著差异，即记忆与元记忆产生分离，并将这一现象命名为字体大小效应。

字体大小导致出现元记忆错觉，而个体准确的元记忆对合理利用认知资源，提高自己记

忆成绩至关重要。为了减小字体大小效应，Rhodes 和 Castel 引入词对相关性，将相关词对和不相关词对以 18pt 小字体和 48pt 大字体呈现。结果发现字体大小效应减弱，个体主要以相关性为线索进行 JOLs，且 JOLs 准确性提高。当词对相关性和字体大小同时呈现，字体大小的效应量显著低于只有字体大小这一线索时的效应量，但字体大小效应仍然存在。Mendes 和 Undorf (2022)以词频为变量，考察词频和字体大小线索同时存在时，两线索对 JOLs 的影响。结果发现个体主要以词频作为 JOLs 的主要线索。

将相关性和词频引入字体大小效应后，字体大小效应减弱但仍然存在，这与研究者的假设不符，Rhodes 和 Castel(2008)认为相关性相比于字体大小，是更具有诊断性的线索，应该能够消除字体大小效应。有研究多相关性、词频作为控制难度的依据(Soderstrom & McCabe, 2011)，因此相关性和词频对字体大小效应的影响可能是难度的作用，心理测量学中以通过率作为划分难度的依据，但并未有研究以通过率来控制材料难度。这可能是难度并未完全消除字体大小效应的原因，与相关性词频相比，JOLs 可能对以通过率来控制的难度更加敏感。

其次，近年来减小元记忆错觉引起了研究者们的广泛关注，但对字体大小导致 JOLs 产生偏差的原因以及为何有难度的加入能够减小元记忆错觉，提高 JOLs 准确性的作用机制较少有人探究。ERPs 技术具有较强的时间分辨率，可以通过毫秒级的分辨率分析编码、JOLs 等认知加工过程，通过考察相关的脑电成分可以深入揭示个体在难度和字体大小同时存在时，大脑的注意资源和认知控制等方面的动态变化，以解决难度消除字体大小效应的神经机制。

Bayer 等人(2012)研究了情绪词和中性词的字体大小的 ERP 效应。虽然 P1 和 N1 振幅不受情绪影响，但相对于小字体单词，大字体单词的早期后验负波开始得更早，持续时间更长。P1 成分与注意力工作的早期视觉处理有关(Kalsi et al., 2019)，又被称为外源性成分，受物理刺激的影响，只与刺激的物理特征有关。Zhou(2022)通过研究不同字体词对学习时的 ERP 波形图，发现不同字体在 P2 的波幅不同。P2 是出现在额叶和顶枕叶的内源性成分，且与文字的字形加工有关(Misra & Holcomb, 2003)。因此，这些研究可能表明字体大小影响编码早期阶段。

Undorf 等人(2020)考察了难度对学习判断影响的神经机制。选取相关词对和不相关词对让被试进行学习以及学习判断，结果发现与不相关词对相比，相关词对学习判断更高但诱发的 N400 波幅更小，说明个体对相关词对提取流畅性体验更高。Seren(2022)通过 ERPs 探究分类相关的词对在长时记忆中诱发 N400 和 LPC，发现相关、不相关和伪词条件对 LPC 振幅的不同影响。LPC 与 N400 同属于编码中后期，LPC 是进行认知加工和评价的阶段(Fan & Han, 2008)，该阶段属于精细加工。有关于词对相关性的研究可能表明词对相关性影响编码

中后期的脑电成分，此时个体对学习项目进行了深层次加工。

此外，先前研究缺乏对 JOLs 阶段的 ERP 波幅进行直接记录，因此可能会忽略线索的作用方式。因此可以通过 ERPs 考察难度和字体大小在编码和 JOLs 时期的时程特征，揭示难度对字体大小效应产生影响的电生理机制。

综上，本研究实验 1 采用通过率来控制难度，考察难度和字体大小同时为 JOLs 线索时，难度能否影响字体大小效应，提高 JOLs 准确性。假设当字体大小和难度同时存在时，个体会忽略字体大小这一线索，通过难度进行 JOLs。难度可以通过影响记忆与元记忆，削弱字体大小效应。实验 2 拟采用 ERPs 技术，分析编码和 JOLs 两阶段的 ERPs 波幅，考察当难度、字体大小同时为 JOLs 的线索时，个体进行 JOLs 时难度削弱字体大小效应的原因。

2 实验 1a：字体大小效应检验

实验 1a 采用单因素(字体大小：18pt、48pt)被试内设计，旨在复刻字体大小效应，以验证字体大小效应在本研究中是否存在。实验流程采用经典 JOLs 范式。

2.1 实验方法

2.1.1 被试

在实验 1a 进行之后的一周，相同被试进行实验 1b，因此以实验 1a 和 1b 的结合来确定被试数量。使用 G* Power 3 进行被试量计算，效应量设置为较小效应量 $d = 0.25$(Grogan et al., 2021)。当检验效能(1 - β)为 0.8，显著性水平(α)设置为 0.05 时最小被试量为 24 人。在东北某高校随机招募 28 人，根据最后回忆成绩确定被试有效性，回忆正确率过低(低于 10%)的被试被剔除，保留有效被试 26 名(男生 10 人，女生 16 人，$M = 20.35$ 岁，$SD = 2.46$)。所有被试均通过招募方式自愿报名参加本次实验，之前并未参与过与 JOLs 有关的实验，视力正常或矫正视力正常。实验符合伦理要求，在实验开始前要求被试签署知情同意书。

2.1.2 实验仪器

使用 E-Prime3.0 软件对实验程序进行编写。以联想多媒体计算机为实验仪器，显示屏为 21 英寸的 CRT 彩色平板显示器(分辨率=1920 × 1080 像素；刷新率= 75 Hz)。对数据的处理与分析使用 SPSS 26.0。

2.1.3 实验材料

词对难度的指标为词对线索回忆的通过率，低通过率(0.03~0.13)为困难词对，高通过率(0.63~0.80)为简单词对，通过率在 0.5 左右为中等难度词对(姜英杰 等, 2023)。对笔画、字形做出平衡。实验 1a 旨在验证字体大小效应在本研究中是否存在，因此对词对难度进行控制，均为中等难度(通过率：0.43~0.60)。选取 4 个词对作为练习实验词对，帮助被试熟悉实验流程，另外选取 30 个词对用于正式实验，共计 34 个词对构成本实验研究材料。实验材料随机分为两组，一组词对字体为 18pt 小字体，另一组词对字体为 48pt 大字体，测试过程中两组材料随机呈现。

2.1.4 实验程序

本实验是一个两因素被试内实验。实验采用经典 JOLs 范式，即学习—JOLs—测试，测试在所有词对学习完之后进行。首先在屏幕中央呈现注视点 500ms，随后以黑色字体呈现 48 号或 18 号词对，呈现时间为 4s，被试需要在 4s 内对该词对进行记忆。在每个词对学习之后被试需要根据自己的记忆程度对该词对进行 0~100 的 JOLs(0 表示完全记不住，100 代表肯定能记住)。学习全部词对后，进行干扰任务，防止被试进行复述而影响实验结果。本

研究干扰任务是要求被试口头报告从 3000 开始连续减 4 的算数结果，此过程持续 3 分钟，最后进行线索目标回忆测试。测试时在屏幕上呈现左边的线索词，让被试对目标词进行填写(图 1)。

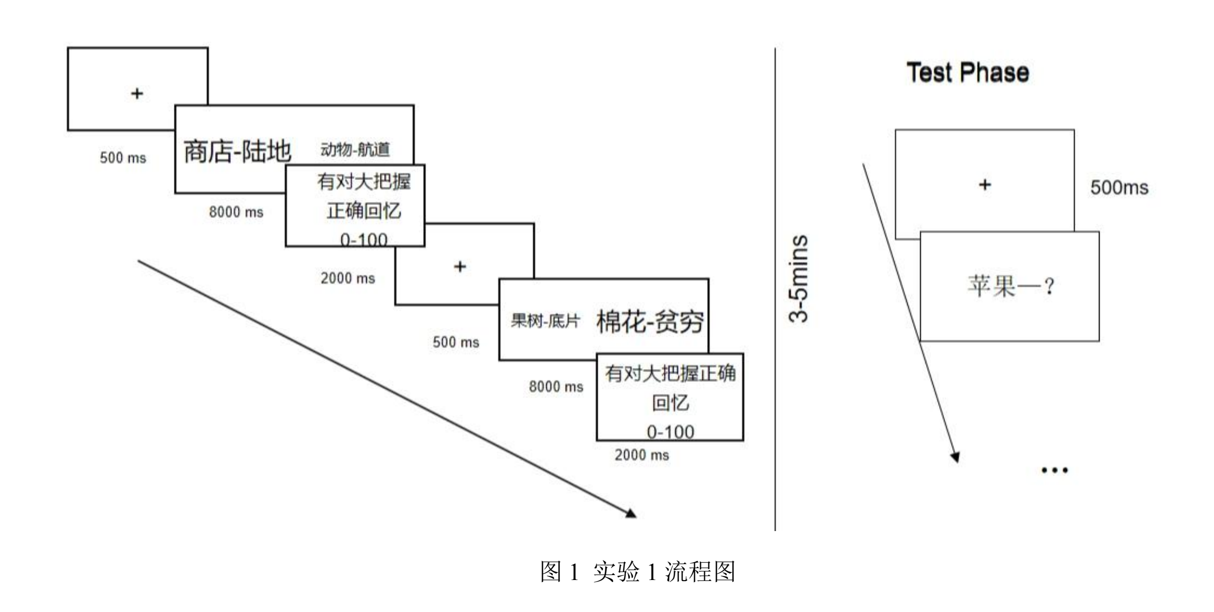


图 1 实验 1 流程图

2.2 实验结果

为考察字体大小对 JOLs 的影响，对实验数据进行配对样本 t 检验，结果显示：字体大小主效应显著，$t(1, 25) = 2.366$，$p = 0.026$，$d = 0.18$。大字体 JOLs 值($M = 52.65$)显著高于小字体 JOLs 值($M = 49.28$)。表明当只有字体大小这一可用线索时，被试注意到了词对字体大小的差异并利用此线索做 JOLs。

为考察字体大小对回忆正确率的影响，对实验数据进行配对样本 t 检验，结果显示：字体大小主效应不显著，$t(1, 25) = 0.113$，$p = 0.911$，大字体词对回忆正确率($M = 22.31$)与小字体词对回忆正确率($M = 22.05$)无显著差异(图 2)。

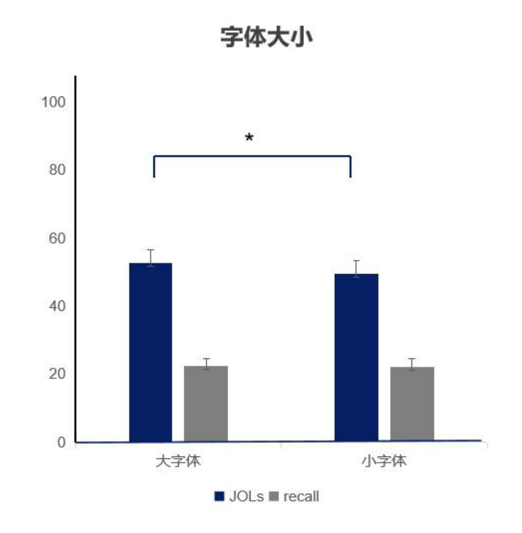


图 2　字体大小对 JOLs、回忆正确率的影响

注：* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$, 下同，误差线为标准误

2.3 讨论

实验 1a 仅有字体大小这一线索，将难度控制为中等难度词对，考察当仅有字体大小线索时，被试是否注意到这一线索并利用该线索进行 JOLs。结果表明，当仅存在字体大小这一线索时，被试以该线索进行 JOLs 且出现了元记忆错觉。该实验结果与前人一致，发现了字体大小效应。

3　实验 1b：难度对字体大小效应的影响

实验 1b 为 2(字体大小：18pt、48pt) × 2(难度：简单、困难)被试内设计，将大字体词对和小字体词对交替呈现，考察难度线索对字体大小效应的影响。实验流程采用经典 JOLs 范式。

3.1 实验方法

3.1.1 被试

被试同实验 1a。

3.1.2 实验仪器

实验仪器同实验 1a。

3.1.3 实验材料

本实验共选取 66 个词对。以词对线索目标回忆通过率为难度划分依据，选取困难词对和简单词对各 30 对，共计 60 对用于正式实验。练习实验选取 4 个中等(0.43~0.60)难度词对，另外选取两个词对用于排除首因效应和近因效应。将用于正式实验的材料随机分为两组，每组 30 个词对。一组设置为 18pt 小字体，另一组设置为 48pt 大字体。两组词对呈现顺序随机。

3.1.4 实验程序

实验程序同实验 1a。

3.2 实验结果

表 1 难度和字体大小的回忆正确率和 JOLs 的平均数和标准差($M \pm SD$)

		困难	简单
JOLs	18pt	45.11±21.24	54.09±17.68
	48pt	46.16±21.93	52.98±19.39
回忆正确率	18pt	15.13±11.56	40.39±14.86
	48pt	16.41±10.37	42.42±13.54

3.2.1 难度和字体大小对 JOLs 影响

为考察字体大小和难度对 JOLs 的影响，对本实验结果进行 2×2 重复测量方差分析，结果显示：字体大小主效应不显著，$F(1, 25) = 0.001$，$p = 0.980$，大字体 JOLs 值($M = 49.57$)和小字体 JOLs 值($M = 49.60$)无显著差异。难度主效应显著，$F(1, 25) = 17.306$，$p < 0.001$，$\eta_p^2 = 0.409$，简单词对的 JOLs 值($M = 53.54$)显著高于困难词对 JOLs 值($M = 45.64$)。交互作

用不显著，$F(1, 25) = 0.770$，$p = 0.388$，表明难度可以消除字体大小效应，无论是简单词对还是困难词对，大字体和小字体 JOLs 均无显著差异，个体不以字体大小线索进行 JOLs(图 3)。

3.2.2 难度和字体大小对回忆正确率影响

为考察字体大小和难度对回忆正确率的影响，对本实验结果进行 2×2 重复测量方差分析，结果显示：字体大小主效应不显著，$F(1, 25) = 1.741$，$p = 0.065$，大字体回忆正确率($M = 29.42$)和小字体回忆正确率($M = 27.76$)无显著差异。难度主效应显著，$F(1, 25) = 120.832$，$p < 0.001$，$\eta_p^2 = 0.829$，简单词对的回忆正确率($M = 41.41$)显著高于困难词对的回忆正确率($M = 15.77$)。交互作用不显著，$F(1, 25) = 0.165$，$p = 0.688$，无论是大字体还是小字体，简单词对的回忆正确率均高于困难词对(图 3)。

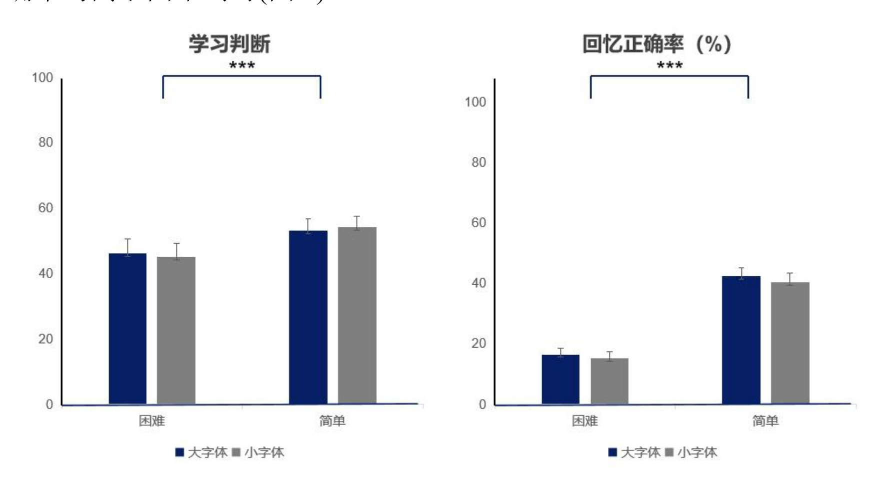


图 3　字体大小和难度对 JOLs、回忆正确率影响

3.3 讨论

在实验 1b 设置中，难度和字体大小线索同时存在。结果发现，当难度和字体大小同时为 JOLs 的线索时，个体仅以难度为线索进行 JOLs，字体大小不影响个体的 JOLs 和回忆成绩。即难度通过影响 JOLs 的线索选择，消除了字体大小效应。其原因可能是难度在 JOLs 中的加工深度高于字体大小。因此当两者同时存在时，个体以难度为 JOLs 的主要依据。

4 实验 3：难度消除字体大小效应的时程特征

实验 1 通过行为实验，发现难度能够消除字体大小效应，但原因尚不清楚。有研究提出编码强度的增强能提高 JOLs 的准确性，使字体大小效应消失(赵文博 等, 2020)。因此难度消除字体大小效应可能也是因为难度能够促进个体对学习项目进行深度语义加工。但先前研究只通过操控实验条件，在行为数据层面得出的推论。因此难度消除字体大小效应是否是因为难度能够提高加工深度还需要进一步探究。实验 2 采用 ERPs 技术，考察难度消除字体大小效应的神经基础。

4.1 实验方法

4.1.1 被试

使用 G* Power 3 进行被试量计算，效应量设置为较小效应量 $d = 0.25$(Grogan et al., 2021)。当检验效能(1 - β)为 0.8，显著性水平(α)设置为 0.05 时最小被试量为 20 人。在东北某高校随机招募 27 人，预处理时拒绝率在 35%以上的被试被剔除，保留有效被试 25 名(男生 10 人，女生 15 人，$M = 21.48$ 岁，$SD = 3.34$)。要求同实验 1a。

4.1.2 实验材料

以词对线索目标回忆通过率为划分难度的依据。本次实验共选取 206 个词对，选取低通过率(0.03~0.13)的困难词对 100 对，高通过率(0.63~0.80)的简单词对 100 对用于正式实验，另外选取 6 个中等(0.43~0.60)难度词对用于练习，并对笔画、字形做出平衡。实验材料随机分为两组，一组词对字体为 14pt 小字体，另一组词对字体为 50pt 大字体，测试过程中两组材料随机呈现。实验共分为 4 个 block 进行，每个 block 学习 50 个词对。

4.1.3 实验仪器

实验仪器和数据处理分析软件同实验 1a。对脑电技术(Electroencephalogram, EEG)数据进行记录的程序使用 E-prime 3.0 软件编写，通过联想多媒体计算机进行显示，显示器与运行程序的计算机相同。实验在 Windows 10 系统上运行。在实验中要求被试端坐于电脑前，尽量保持不动，头部距离计算机 80cm 左右。

4.1.4 实验程序

本实验是一个两因素被试内实验。实验采用经典 JOLs 范式，即学习—JOLs—测试，测试在所有词对学习完之后进行，学习阶段流程见图 3.1。在实验开始前通过指导语告知被试学习材料会以大和小两种字体呈现，以确保被试注意到字体大小线索。首先在屏幕中央呈现注视点 500ms，随后以黑色字体呈现 50 号或 14 号词对，呈现时间为 4s，被试需要在 4s 内对该词对进行记忆。在每个词对学习之后被试需要根据自己的记忆程度对该词对进行高或低

的 JOLs(1 表示低信心，2 代表高信心)。每个 block 学习 50 个词对后被试可以自主选择是否休息，休息之后进行再认测试。共进行 4 个 block，每个 block 均为完整的学习—JOLs—测试组成。实验流程同实验 1，仅将测试阶段的测验形式改为再认测试。

4.1.5 脑电数据记录

以 ESI-64 导脑电设备进行脑电数据记录，该设备是由 NeuroScan 公司制造的，头皮相应位置的 EEG 则是通过使用国际 10-20 系统扩展的 64 导电极帽来记录的。该装置可对被试进行连续、实时监测。左侧乳突位置电极为在线参考电极，而记录电极为右侧乳突处的电极。在离线分析阶段，以左右乳突的平均值做参考电极。将采集到的信号输入计算机进行处理后得到所需要的信息。在进行数据记录的过程中，设置了 1000Hz 的采样率和 0.05-100Hz 的带通滤波，并确保每个电极与头皮之间的电阻均降到 10KΩ以下。脑电数据的预处理使用 Matlab 中的 EEGLAB 进行。将采样率由 1000Hz 降为 500Hz，将带通滤波设置为 0.1-40Hz。基线设置为刺激开始前的 200ms。接下来分别对字体大小以及难度的配对类型的词对出现前 200 ms 至后 800 ms 进行提取，得到每个被试的片段，对分割后的数据进行眨眼和水平扫视伪影的校正。并在平均前去除振幅在±100μV 范围的伪迹。在消除伪迹之后，进行叠加和平均处理。最后数据使用 ERPlab 进行进一步分析。

4.2 行为结果

实验 2 难度和字体大小的 JOLs 和回忆正确率平均数和标准差(n=25)

		困难	简单
JOLs	14pt	0.48±0.23	0.70±0.20
	50pt	0.47±0.26	0.67±0.21
回忆正确率	14pt	0.66±0.11	0.78±0.09
	50pt	0.64±0.12	0.77±0.09

4.2.1 难度和字体大小对 JOLs 影响

对难度和字体大小同时存在时被试的 JOLs 数据进行 2×2 重复测量方差分析，结果显示：字体大小主效应不显著，$F(1, 24) = 1.104$，$p = 0.304$，大字体 JOLs 值($M = 0.57$)和小字体 JOLs 值($M = 0.59$)无显著差异。难度主效应显著，$F(1, 24) = 61.981$，$p < 0.001$，$\eta_p^2 = 0.721$，简单词对的 JOLs 值($M = 0.68$)显著高于困难词对 JOLs 值($M = 0.48$)。表明当字体大小和难度同时为可用线索时，个体主要以难度为线索进行 JOLs。交互作用不显著，$F(1, 24) = 0.081$，$p = 0.778$，无论是大字体还是小字体，简单词对的 JOLs 均高于困难词对，与实验 1b 结果一致(图 4)。

4.2.2 难度和字体大小对再认正确率影响

对难度和字体大小同时存在时被试的再认正确率数据进行 2×2 重复测量方差分析，结果显示：字体大小主效应不显著，$F(1, 24) = 1.915$，$p = 0.179$，大字体正确率($M = 0.71$)和小字体正确率($M = 0.72$)无显著差异。难度主效应显著，$F(1, 24) = 83.231$，$p < 0.001$，$\eta_p^2 = 0.776$，简单词对的再认正确率($M = 0.78$)显著高于困难词对再认正确率($M = 0.65$)。这与被试 JOLs 结果一致。交互作用不显著，$F(1, 24) = 0.144$，$p = 0.708$，无论是大字体还是小字体，简单词对的正确率均高于困难词对(图 4)。

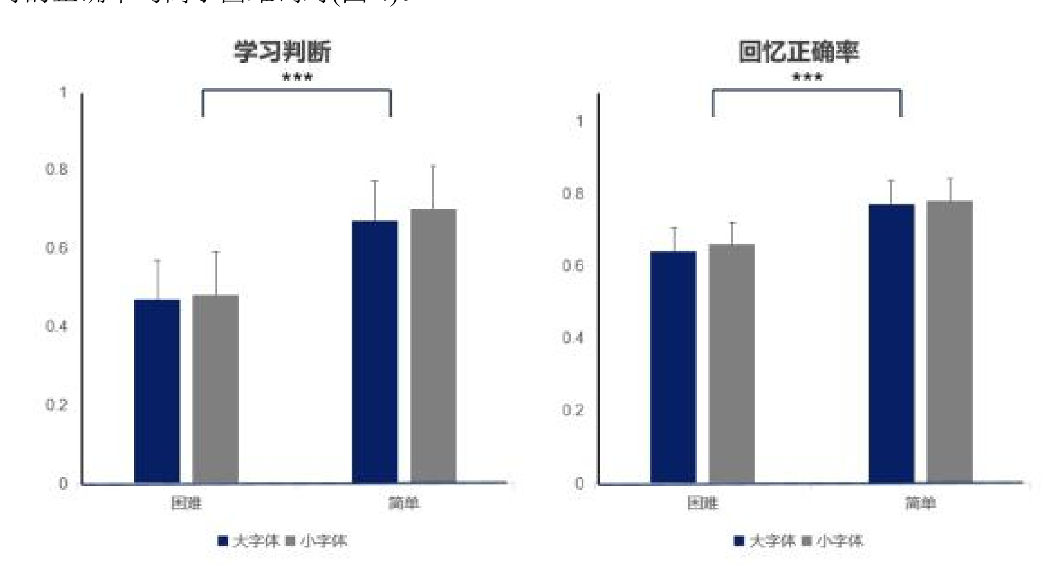


图 4　难度和字体大小对 JOLs 和再认正确率影响

4.2.3 JOLs 绝对准确性

为考察难度和字体大小对 JOLs 准确性的影响，对实验数据进行 2(字体大小：14pt、50pt) × 2(难度：简单、困难)重复测量方差分析，结果显示：字体大小主效应不显著，$F(1, 24) = 0.068$，$p = 0.796$，大字体准确性($M = -0.13$)和小字体绝对准确性($M = -0.12$)无显著差异。难度主效应显著，$F(1, 24) = 13.238$，$p =0.001$，$\eta_p^2 = 0.355$，简单词对的准确性($M = -0.08$)显著高于困难词对准确性($M = -0.17$)。交互作用不显著，$F(1, 24) = 0.356$，$p = 0.556$。结果表明四种条件下个体对自己记忆成绩均存在低估现象，简单词对的元记忆判断准确性较高(图 5)。

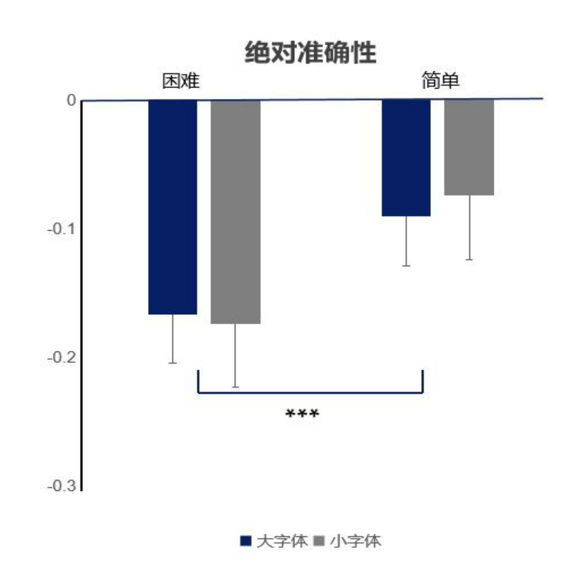


图 5　绝对准确性

4.3 ERPs 结果

4.3.1 编码阶段

P2 是出现在额叶和顶枕叶的内源性成分，有研究表明 P2 与文字的字形加工有关(Misra & Holcomb, 2003)。因此本研究选取 200ms~300ms 时间窗口，以左侧额叶和额中区为兴趣区(F3、F5、FC3、FC5)对各条件振幅进行 2 (字体大小：14pt、50pt)×2(难度：简单、困难)重复测量方差分析。结果显示：在左侧额叶和额中区上字体大小主效应显著，$F(1, 24) = 7.933$，$p = 0.01$，$\eta_p^2 = 0.248$，大字体词对($M = 2.61\mu V$)相比于小字体词对($M = 1.82\mu V$)诱发了更正的 P2 波幅。难度主效应不显著，$F(1, 24) = 0.003$，$p = 0.958$，困难词对波幅($M = -2.79\mu V$)和简单词对波幅($M = -1.60\mu V$)无显著差异。交互作用不显著，$F(1, 24) = 1.058$，$p = 0.314$(图 6)。

P3 代表注意和朝向过程，而 LPC 与之类似，是认知加工和评价的阶段(Fan & Han, 2008)，该阶段对学习项目进行精细加工，在加工深度的研究中经常发现语义编码和字形编码诱发不同的 LPC 波幅。当个体对所学项目有较为充分的加工时，能够诱发更大的 LPC 波幅(Olofsson et al., 2008; Song et al., 2019)。LPC 出现在顶叶，时间窗口范围大致为 400~700ms(Meng et al., 2012; 程家萍　等, 2017; 杨东　等, 2015)。本研究选取 450~600ms 时间窗，以右侧顶叶为兴趣区(CP2、CP4、P2、P4)对各条件振幅进行 2 (字体大小：14pt、50pt)×2(难度：简单、困难)重复测量方差分析，结果显示：在右侧顶叶上，字体大小主效应不显著，$F(1, 24) = 0.305$，$p = 0.586$，大字体波幅($M = 0.37\mu V$)和小字体绝对波幅($M = 0.55\mu V$)无显著差异。难度主效应边缘显著，$F(1, 24) = 4.156$，$p = 0.053$，$\eta_p^2 = 0.148$，困难词对($M = 0.96\mu V$)相比于简单词对($M = -0.04\mu V$)诱发了更负的波幅。交互作用不显著，$F(1, 24) = 0.2751$，$p = 0.11$(图 6)。

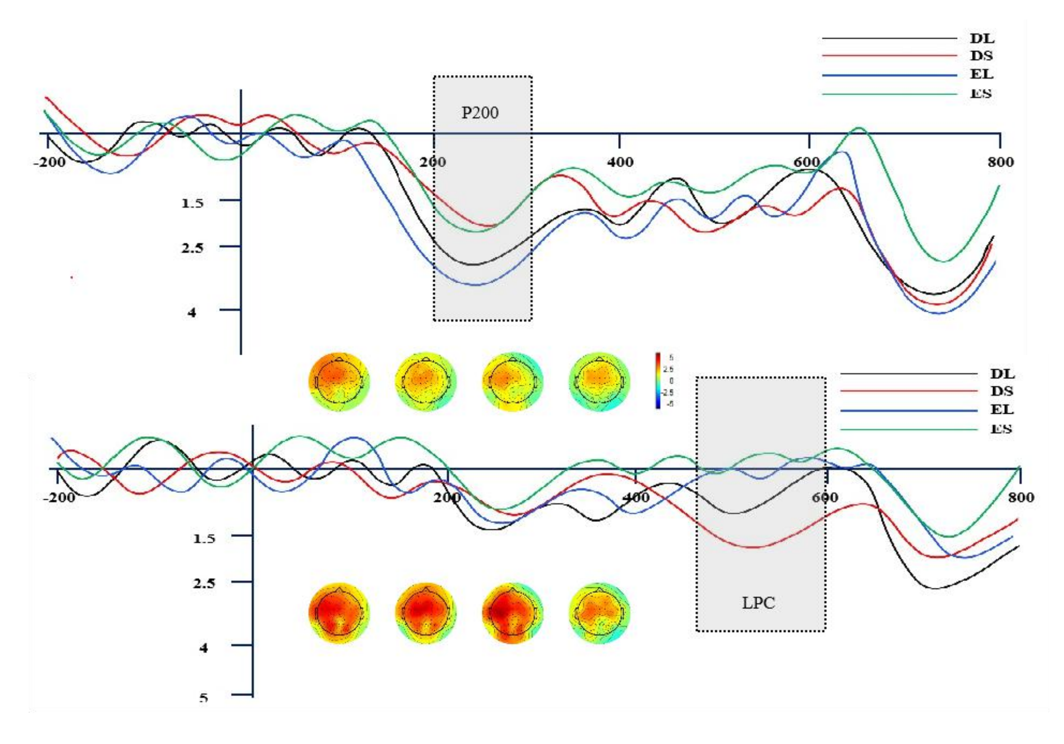


图 6　编码阶段 P2 和 LPC 地形图和波形图

注：DL:48pt 困难词对 DS:18pt 困难词对 EL:48pt 简单词对 ES:18pt 简单词对

4.3.2 JOLs 阶段

根据前人研究和本实验的实验结果，选取右侧额叶 F2、F4、F6 为兴趣点进行平均，分析 850ms~1000ms 的 LPN 波幅，对实验结果进行 2(字体大小：14pt、50pt) × 2(难度：简单、困难)重复测量方差分析，结果显示：在右侧额叶上，字体大小主效应不显著，$F(1, 24) = 0.389$，$p = 0.539$，大字体波幅(M = -2.00μV)和小字体波幅(M = -2.00μV)无显著差异。难度主效应显著，$F(1, 24) = 4.257$，$p = 0.05$，$\eta_p^2 = 0.151$，困难词对(M = -2.79μV)相比于简单词对(M = -1.60μV)诱发了更负的波幅。交互作用不显著，$F(1, 24) = 0.24$，$p = 0.628$(图 7)。

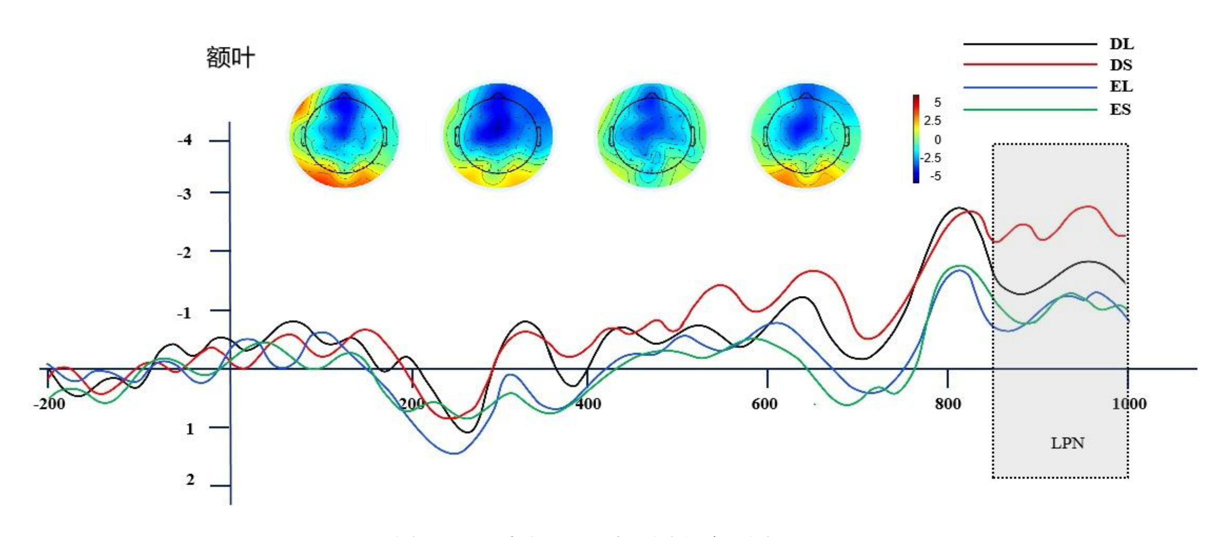


图 7 JOLs 阶段 LPN 地形图和波形图

4. 4 讨论

实验 2 通过 ERPs 技术考察了难度消除字体大小效应、提高 JOLs 准确性的原因。行为结果与实验 1b 一致，表明实验 1b 结果具有一致性和稳定性，也就是说难度可以通过影响 JOLs，消除字体大小效应。ERPs 层面，在编码阶段，字体大小影响编码早期成分 P2，在这一阶段，大字体单词诱发了更大的 P2 波幅，表明个体对大字体单词的字音字形加工需要占用更多的认知资源。而难度影响 LPC，在这一阶段，被试对所学项目进行了语义编码，属于对学习项目进行了深层次加工。困难词对诱发了更大的 LPC 波幅，表明与简单词对相比，困难词对的编码程度更深。

在 JOLs 阶段，发现了与记忆提取有关的 LPN 成分。因此 ERPs 结果为行为结果提供了神经层面的解释和支持，字体大小这一知觉特征的感知出现在编码早期，此时个体仅依据视觉特征来进行浅层次的编码。在编码时期个体对难易程度的感知出现在编码的中后期，此时个体对词对的语义信息进行了编码，个体对学习项目进行较深层次的加工，深加工能够帮助个体进行有效的 JOLs，矫正元记忆错觉(赵文博　等, 2020)。且 LPN 成分表明，个体在进行 JOLs 时基于难度这一分析性线索进行判断，此时个体对项目进行了尝试提取，基于所学内容的概念进行认知控制从而做出更为准确的 JOLs，减小元记忆错觉。

5 总讨论

本研究考察难度线索能否消除字体大小线索引发的元记忆错觉，以及难度消除字体大小效应的原因。在实验 1 中采用经典 JOLs 范式，考察难度能否消除字体大小效应。结果发现，个体主要以难度线索进行 JOLs，且以难度线索进行 JOLs 时，JOLs 准确性提高，字体大小效应被消除。实验 2 采用 ERPs 技术进一步探究难度消除字体大小效应的原因。实验 2 的行为结果与实验 1 一致，发现难度线索可以消除字体大小效应，提高个体的 JOLs 准确性，帮助个体进行有效的元记忆监测。

5.1 难度消除字体大小效应

先前研究表明个体在进行 JOLs 时仅依据字体大小这一知觉特征线索会引发元记忆错觉。研究者将词对相关性、词频等引入字体大小效应，以减小元记忆错觉，提高 JOLs 准确性。Rhodes 和 Castel(2008)字体大小和词对相关性对 JOLs 的影响，结果发现字体大小效应减弱，Mendes 和 Undorf(2022)考察词频和字体大小对 JOLs 的影响，出现类似结果。但与研究者的假设不符的是字体大小效应并未完全消除。

前人研究多以相关性或词频作为划分难度的依据，研究者认为高相关词对比低相关词对更容易记住，高频词比低频次更容易记忆(Soderstrom & Mccabe, 2011)，但此方式进行的难度控制并不是心理测量中对难度控制的依据。根据 Koriat 对内部线索的定义和心理测量学指标不难看出，对难度进行控制最好的方式是以通过率为依据。高通过率的项目为简单项目，低通过率项目为困难项目。因此本研究以通过率为划分难度的依据，通过行为实验(实验 1)考察难度能否消除字体大小效应，提高个体 JOLs 准确性。实验结果表明，个体选择难度为 JOLs 的主要线索，字体大小线索的影响消失，从而消除了字体大小效应。本研究结果还发现，被试进行 JOLs 的过程中，尽管注意到了字体大小的差异，但依然依据难度线索进行 JOLs，忽略了字体大小线索。难度通过影响 JOLs 时的线索选择，消除了字体大小效应，提高了元记忆准确性。实验 2 改变测试形式，以及增大大字体和小字体的差异，实验结果与实验 1 一致，即难度消除字体大小效应。两个实验的行为数据取得了一致的结果，证明难度对字体大小效应的消除具有稳定性，且不受测验形式的影响。

本研究并未发现显著的字体大小主效应或难度与字体大小的交互作用，此结果与前人研究不一致。先前的研究表明，JOLs 对语义关联性高度敏感(Sheffer & Bar, 2004)，这一发现表明，词对关联性可能是一种足够强的线索，可以减轻字体大小效应。因此，引入更具诊断性的变量可能会消除字体大小对 JOLs 的影响(Rhodes & Castel, 2008)。然而先前研究引入词对相关性并未消除字体大小效应的影响，这一结果与研究假设不符。本研究采用通过率控制

难度，消除了字体大小效应，实验结果与前人的假设一致。这可能说明以通过率为依据控制的难度，与词对性关系相比是更具诊断性的变量，在对学习材料进行编码时，个体对词对难度比词对相关性更加敏感。

5.2 语义编码提高 JOLs 准确性

本研究通过 ERPs 技术，从编码和 JOLs 两个阶段揭示了进行 JOLs 时难度线索能够消除字体大小效应的原因及其时程特征。本研究在学习阶段发现了 P2 和 LPC 波幅。与小字体相比，大字体在 200ms~300ms 之间于左侧额叶诱发的 P2 波幅更正。P2 与感知字音字形有关(Misra & Holcomb, 2003)，虽然存在感知上的差异，但大小字体均诱发了 P2，这表明个体对字体大小的编码属于感知学习项目的字形，是非语义编码范畴，属于浅加工。本研究还发现在学习阶段的 450ms~600ms 内于右侧顶叶诱发了 LPC 波幅。前人研究表明 LPC 代表注意与朝向过程，在个体对学习项目进行语义编码时会诱发 LPC 成分。此阶段个体对词对有比较清晰的辨识，属于精细加工(Fan & Han, 2008)。在这一阶段，困难词对诱发了更大的 LPC 波幅，表明困难词对会诱发个体进行深编码，从而提高自己的记忆成绩。在学习阶段，深度编码能够激活与记忆提取有关的神经。

在有关加工水平效应的研究中，一般使用知觉任务作为非语义任务，使用判断相关性等作为语义任务，这一任务设置在研究中被证明可以有效控制加工水平(Nieznanski, 2020)。据此可以推测难度影响字体大小效应的原因可能是由于难度会诱发个体对学习项目进行深加工。个体对字体大小进行加工属于知觉层面的加工，这一阶段的加工任务与加工水平效应研究中的浅加工任务相类似。在这一阶段被试首先对学习材料的物理特征即字体的大或小进行加工。而个体对难度进行加工的过程类似于加工水平效应研究中的语义任务加工过程，在语义加工过程中被试对材料的语义信息进行编码。因此与字体大小相比，个体对难度进行编码时诱发的语义加工更加重要。此外，有研究提出对学习材料的深加工与浅加工相比会产生更深的记忆痕迹，从而提高记忆成绩(Walla et al., 2001)。字体大小作为知觉特征线索，会引发个体对学习项目进行浅层编码，而难度线索促进个体进行语义编码，此过程与晚期深加工有关，因此难度可以通过提高加工深度，消除字体大小效应，提高 JOLs 准确性。

对脑电结果进行直接分析，结果表明个体进行 JOLs 时并不仅依据基于理论的分析式推理或基于经验的非分析式推理。本研究结果发现在 JOLs 阶段，850ms~1000ms 时在额叶诱发了 LPN 成分，简单和困难词对诱发了不同的 LPN 波幅，LPN 在先前研究中被证实代表了基于概念检索条件下的认知控制过程，与记忆提取有关。LPN 成分反映了对检索到的特征信息的额外记忆评估过程，表明当个体在进行 JOLs 时，会依据与语义编码有关的线索进行判断，而忽略知觉线索。深加工能够影响与记忆提取有关的神经激活，因此难度这一需要语

义加工的线索在 LPN 上有不同程度的波幅。这可能潜在的表明个体对文字材料进行 JOLs 时是依据语义进行提取，而不是对视觉特征进行提取。

5.3 研究不足与展望

本研究考察难度和字体大小在进行 JOLs 时的线索作用，发现当难度和字体大小同时为可用线索时，个体会选择难度作为 JOLs 的主要线索，进而难度线索可以矫正字体大小效应引发的元记忆错觉。实验 1a 仅有字体大小这一线索时，被试虽然给予了大字体更高的 JOLs，但是字体大小线索的效应量较小，被试可能对字体大小这一线索的利用率较低。因此在今后的实验中可以改进实验设计，将字体大小这一线索突出，考察难度是否依然能调整字体大小效应。

在分析 JOLs 阶段，发现在 JOLs 阶段可能存在尝试提取过程，难度影响 JOLs 不仅依据编码流畅性，可能还通过尝试提取来影响 JOLs。在以后的研究中可以使用 fMRI 考察图片在 JOLs 过程中是否存在尝试提取，以及图片和词汇的尝试提取是否激活了不同脑区。

6 结论

难度线索能够消除字体大小效应，提高 JOLs 准确性。

（1）在编码阶段，困难词对能够促使个体对学习项目进行语义编码，而难度诱发的语义编码能够提高加工深度，进而消除字体大小效应；

（2）在 JOLs 阶段，个体会进行尝试提取。个体基于语义编码的信息进行尝试提取，忽略非语义编码的信息，进而提高 JOLs 准确性。

参考文献

McDonough, I. M., Enam, T., Kraemer, K. R., Eakin, D. K., & Kim, M. (2021). Is there more to metamemory? An argument for two specialized monitoring abilities. *Psychonomic Bulletin & Review, 28*(5), 1657-1667.

Undorf, M., Navarro-Báez, S., & Zimdahl, M. F. (2022). Metacognitive illusions. Cognitive Illusions: *Intriguing Phenomena in Thinking, Judgment, and Memory*, 307

Dunlosky, J., & Bjork, R. A. (2008). The integrated nature of metamemory and memory. *Handbook of metamemory and memory*, 11-28.

Nelson, T. O., & Narens, L. (1994). Why investigate metacognition. Metacognition: Knowing about knowing, *13*, 1-25.

Rivers, M. L. (2021). Metacognition about practice testing: A review of learners' beliefs, monitoring, and control of test-enhanced learning. *Educational Psychology Review*, *33*(3), 823-862.

Rhodes, M. G., & Castel, A. D. (2008). Memory predictions are influenced by perceptual information: evidence for metacognitive illusions. *Journal of experimental psychology: General, 137*(4), 615.

Mendes, P. S., & Undorf, M. (2022). On the pervasive effect of word frequency in metamemory. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *75*(8), 1411-1427.

Soderstrom, N. C., & McCabe, D. P. (2011). The interplay between value and relatedness as bases for metacognitive monitoring and control: evidence for agenda-based monitoring. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *37*(5), 1236.

Soderstrom, N. C., & McCabe, D. P. (2011). The interplay between value and relatedness as bases for metacognitive monitoring and control: evidence for agenda-based monitoring. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *37*(5), 1236.

Kalsi, N., Tambelli, R., Altavilla, D., Trentini, C., Panunzi, S., Stanca, M., ... & Lai, C. (2018). Neurophysiological

correlate of emotional regulation in cognitive and motor deficits in Tourette's syndrome. *The World Journal of Biological Psychiatry*.

Aibao, Z. H. O. U., Haiyan, Z. H. A. O., Ruixue, X. I. A., Yue, Y. U. A. N., Tingting, J. I. A., & Pei, X. I. E. The Impact of Reference Styles, Emotional Valence, and Personality-Trait Assessment at Different Semantic Levels on Memory. *Studies of Psychology and Behavior*, *20*(2), 145.

Misra, M., & Holcomb, P. J. (2003). Event–related potential indices of masked repetition priming. *Psychophysiology, 40*(1), 115-130.

Undorf, M., Amaefule, C. O., & Kamp, S. M. (2020). The neurocognitive basis of metamemory: Using the N400 to study the contribution of fluency to judgments of learning. *Neurobiology of Learning and Memory, 169*, 107176.

Düzenli-Öztürk, S., Hünerli-Gündüz, D., Emek-Savaş, D. D., Olichney, J., Yener, G. G., & Ergenç, H. İ. (2022). Taxonomically-related word pairs evoke both N400 and LPC at long SOA in Turkish. *Journal of Psycholinguistic Research*, *51*(6), 1431-1451.

Koriat, A., Bjork, R. A., Sheffer, L., & Bar, S. K. (2004). Predicting one's own forgetting: the role of experience-based and theory-based processes. *Journal of Experimental Psychology: General, 133*(4), 643.

Nieznański, M. (2020). Levels-of-processing effects on context and target recollection for words and pictures. *Acta Psychologica, 209*, 103127.

Walla, P., Hufnagl, B., Lindinger, G., Imhof, H., Deecke, L., & Lang, W. (2001). Left temporal and temporoparietal brain activity depends on depth of word encoding: A magnetoencephalographic study in healthy young subjects. *NeuroImage, 13*(3), 402-409.